

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Геологический факультет

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан Геологического факультета  
академик**

\_\_\_\_\_/Д.Ю.Пушаровский/

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Прикладные аспекты компьютерного моделирования в геодинамике**

Автор-составитель: Захаров В.С.

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура*

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Геотектоника и геодинамика**

Форма обучения:

*Очная*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Учебно-методическим Советом Геологического факультета

(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва 20\_\_

---

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ №1674 от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2019.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.*

### **Цель и задачи дисциплины**

**Цель:** углубление знаний о компьютерном моделировании, принципах и методах и особенностях этого вида моделирования в геодинамике.

**Задачи:** развить у студентов представления о геологических процессах с точки зрения действующих сил и энергий, углубить знания о методах построения компьютерных моделей в геодинамике; развить практические навыки компьютерного моделирования.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, курс – I, семестр – 2.

### **2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

освоение дисциплин «Высшая математика», «Физика», «Геотектоника», «Физика Земли», «Основы математического моделирования», «Геодинамика и математическое моделирование», «Компьютерное моделирование геодинамических процессов», «Основы механики сплошной среды для геологических исследований».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплины «Применение суперкомпьютеров в геодинамическом моделировании», а также для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

### **3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-5.М Способность использовать современные вычислительные методы и компьютерные технологии для решения задач профессиональной деятельности (формируется частично).

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):**

**знать:** основы приближения сплошной среды, основы методов тепло- и массопереноса в геодинамике, знать основные этапы моделирования; принципы построения моделей.

**уметь:** под руководством преподавателя выбрать теоретическую модель и численный метод, провести компьютерное моделирование для решения базовых геодинамических задач .

**владеть:** навыками использования основных методов моделирования для решения геодинамических задач.

**4. Формат обучения** – практические и семинарские занятия.

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 2 з.е., в том числе 49 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (13 часов – занятия практического типа, 26 часов – занятия семинарского типа, 10 часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 23 академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет.

**6. Содержание дисциплины (модуля)**, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

### **Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

В курсе рассматривается приближение сплошной среды для задач геодинамики, основы метода конечных разностей (МКР), деформации и напряжения, закон теплопередачи, численное решение уравнения теплопроводности, приближение вязкой среды, численное решение уравнений движения, уравнение адвекции и его численное решение. Рассматривается метод маркеров в ячейках для численного моделирования в геодинамике.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы * (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение				2	3	
Раздел 2. Приближение сплошной среды для задач геодинамики.			2	2	3	Подготовка к контрольному опросу, 3 часов
Раздел 3. Основы метода конечных разностей.			2	4	6	Подготовка к контрольному опросу, 5 часов
Раздел 4. Решение уравнения теплопроводности.			3	6	9	Подготовка к контрольному опросу, 5 часов
Раздел 5. Решение уравнений движения.			4	8	12	Подготовка к контрольному опросу, 5 часов
Раздел 6. Решение уравнения адвекции.			2	4	6	Подготовка к контрольному опросу, 5 часов
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>						10**
<b>Итого</b>	<b>72</b>			<b>39</b>		33

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **Содержание семинарских занятий:**

**Введение.** Необходимость численного моделирования в геодинاميке. Представление результатов моделирования, визуализация.

**Приближение сплошной среды для задач геодинاميки.** Основы механики сплошной среды. Базовые уравнения: уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости, уравнение Пуассона, их применение для геодинاميического моделирования. Граничные и начальные условия.

**Основы метода конечных разностей.** Численные методы решения ДУ. Понятие о методе конечных разностей (МКР). Дискретизация, представление производных в конечных разностях. Конечные разности на разнесенной сетке. Численное решение уравнения неразрывности и Пуассона МКР.

**Решение уравнения теплопроводности.** Уравнение теплопроводности, его геодинاميические применения. Представление уравнения теплопроводности в конечных разностях. Консервативные и неконсервативные схемы. Явные и неявные схемы численного решения. Граничные условия, их численное представление. Численное решение уравнения теплопроводности. Геодинاميические приложения.

**Решение уравнений движения.** Уравнение движения (Навье-Стокса) вязкой жидкости. Течение очень вязкой несжимаемой жидкости. Уравнение Стокса, его применение в вычислительной геодинاميике. Дискретизация уравнения Стокса. Граничные условия, их виды и представление в дискретном виде.

**Решение уравнения адвекции.** Методы решения. Эйлеров и Лагранжев подход. Метод маркеров (частиц) в ячейках. Интерполяция значений между маркерами и узлами. Численное решение уравнения адвекции. Геодинاميические приложения.

### **Основные темы лабораторных занятий:**

1. Приближение сплошной среды для задач геодинاميки.
2. Численное решение уравнения неразрывности и Пуассона.
3. Численное решение уравнения теплопроводности.
4. Численное решение уравнений движения.
5. Численное решение уравнений адвекции.

### **Рекомендуемые образовательные технологии**

Во время аудиторных занятий проводятся семинары с использованием ПК и компьютерного проектора, активные и интерактивные формы: демонстрация моделей, зависимости результатов моделирования от параметров, разбор конкретных ситуаций, обсуждение отдельных разделов дисциплины. Используются авторские презентации, демонстрационные программы. Для формирования навыков анализа используются компьютерные программы, как авторские, так и свободного пользования. Для закрепления знаний студентов по всем разделам курса проводятся лабораторные занятия в компьютерном классе, целью которых является формирование навыков компьютерного моделирования геодинاميических процессов и объектов. Результаты выполнения лабораторных работ по основным разделам дисциплины служат для текущей и промежуточной аттестации магистрантов.

Самостоятельная работа студентов включает работу под руководством преподавателей (консультации и помощь при подготовке к контрольным опросам) и индивидуальную работу студента.

## **7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

### **7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

#### ***Примерный перечень вопросов для текущей аттестации***

1. Уравнение неразрывности и уравнение Пуассона
2. Основные положения метода конечных разностей.
3. Явные и неявные схемы численного решения уравнения теплопроводности.
4. Метод численного решения уравнения Стокса.
5. Метод маркеров в ячейках в вычислительной геодинамике.

### **7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

#### ***Примерный перечень вопросов при промежуточной очной аттестации:***

1. Описать приближение сплошной среды для геологической среды.
2. Провести описание уравнений неразрывности и Пуассона
3. Провести описание приближения вязкой среды.
4. Дать описание основных реологических соотношений.
5. Привести основные уравнения движения сплошной среды, дать анализ их применимости
6. Провести дискретизацию уравнений движения
7. Описать основные способы теплопередачи, основные уравнения.
8. Провести дискретизацию уравнения теплопереноса
9. Проанализировать уравнение адвекции и методы его дискретизации

Требования к сдаче зачета:

1. Умение проводить дискретизацию основных уравнений, используемых при геодинамическом моделировании.
2. Умение сформулировать начальные и граничные условия.
3. Умение провести компьютерное моделирование рассмотренных в курсе геодинамических задач.
4. Умение исследовать влияние параметров на полученные результаты.

## **8. Ресурсное обеспечение:**

### **А) Перечень основной и дополнительной литературы.**

#### **- основная литература:**

1. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. В 2-х т. М., "Мир", 1985.
2. Харбух Д., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. М., "Мир", 1974. 320 с.
3. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2010. 559 с.

#### **- дополнительная литература:**

1. Андерсон Д., Таннехилл Д., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2-х т. М.: Мир, 1990.
1. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. В 2-х т. М., Мир, 1969.
2. Реология. Теория и приложения. Под ред Ф.Эйриха. М.: Изд. иностр. лит., 1962. 824 с.

3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1999. 798 с.
4. Gerya T.V. Introduction to numerical geodynamic modelling. New York: Cambridge University Press. 2010, 345 p.
5. Ismail-Zadeh A., Tackley P.J. Computational Methods for Geodynamics. New York: Cambridge University Press. 2010. 313 p.
6. Turcotte D.L., Schubert G. Geodynamics. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press. 2002. 863 p.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения: пакет программ Microsoft Office PowerPoint

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. U.S. Geological Survey. [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov).
2. Computational Infrastructure for Geodynamics (CIG). <https://geodynamics.org/>.
3. Справочная система языка программирования Python 3. <https://www.python.org/doc/>.

Г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется):

1. Язык программирования Python 3. <https://www.python.org/download/releases/3.0/>.
2. Среда разработки программ PyCharm. <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/>.
3. Интерактивная оболочка Jupyter Notebook. <https://jupyter.org/>.
4. Пакет Anaconda. <https://www.anaconda.com>.
5. Редактор Notepad++. <https://notepad-plus-plus.org/downloads/>.

Д) Материально-техническое обеспечение: персональные компьютеры, мультимедийный проектор, компьютер, экран.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – Захаров В.С.

11. Автор (авторы) программы – Захаров В.С.